

Efectos del cambio climático sobre el crecimiento de árboles en el bosque tropical húmedo de zonas bajas

OFICINA DE PRENSA DE OET

Una gran parte de la importancia de los bosques tropicales reside en su capacidad de fijar -mediante la fotosíntesis- y emitir -por la respiración- enormes cantidades de carbono, además de conservar una enorme fracción del carbono terrestre en su vegetación y los suelos (Dixon *et al.* 1994). Ante esta realidad, los científicos David y Deborah Clark han desarrollado durante las últimas tres décadas el proyecto *Trees* (árboles) para analizar los efectos de la lluvia, la temperatura y el dióxido de carbono (CO₂) presente en la atmósfera, sobre el crecimiento de los árboles del bosque húmedo tropical primario ubicado en la Estación Biológica La Selva, de la Organización para Estudios Tropicales (OET), en Sarapiquí. A continuación se presentarán los principales resultados tras los análisis que con datos únicos recabados mediante mediciones concentradas en seis especies de árboles efectuaron los doctores Clark.

En teoría, el incremento en la cantidad de CO₂ en la atmósfera podría aumentar la productividad forestal; a este fenómeno se le denomina fertilización de CO₂. Algunos investigadores han elaborado hipótesis para sostener que este mecanismo está relacionado con el incremento en la biomasa reportado dentro de algunos bosques tropicales durante los últimos 30 años.

Durante ciertos años de las décadas de los ochenta y noventa, los terrenos tropicales produjeron emisiones de CO₂ en cantidades inusuales, que se deduce ocurrieron durante los años de elevadas temperaturas y escasa precipitación (Adams y Piovesan 2005, Baker *et al.* 2006, Denman *et al.* 2007). Estos altibajos en las emisiones tropicales durante diferentes años van en paralelo con las grandes variaciones interanuales que se han observado en el crecimiento de los árboles en la Estación La Selva en Sarapiquí, según los estudios aplicados en ese bosque costarricense entre 1984 y el 2000 (Clark *et al.* 2003). Por lo tanto, se infiere que la variación anual en temperaturas y/o precipitaciones puede afectar el equilibrio del carbono tropical de los bosques tropicales a escala global.

Estos hallazgos sugieren que, en el futuro, el calentamiento global podría provocar impactos negativos más y más fuertes sobre la productividad de los bosques tropicales. Si la precipitación disminuye a la misma vez, los impactos negativos serían aun más

fuertes. En cambio, queda la posibilidad de que el aumento constante en el contenido atmosférico de CO₂ (Cramer *et al.* 2001, Cox *et al.* 2004, Berthelot *et al.* 2005, Denman *et al.* 2007, Matthews *et al.* 2007, Hickler *et al.* 2008, Lloyd y Farquhar 2008) y cualquier aumento de la radiación solar (Nemani *et al.* 2003) puedan favorecer la productividad boscosa.

Los datos recabados a largo plazo sobre el crecimiento de los árboles del bosque primario de La Selva demuestran que los niveles de variación entre años recientes en las temperaturas nocturnas y en las lluvias durante la estación seca crean impactos inmediatos e importantes sobre el crecimiento de los árboles y su mortalidad. Los resultados indican que, conforme avancen los cambios climáticos durante las próximas décadas, existen mayores probabilidades de que se produzcan cambios significativos en la estructura y el funcionamiento del bosque tropical lluvioso.

Un factor investigado entre 1983 y 2007 fue la relación entre las temperaturas nocturnas y el crecimiento de árboles, que vino a complementar el proyecto *Carbon*, también desarrollado por los investigadores Clark a partir de 1997. Se pudo constatar que la temperatura promedio nocturna aumentó de forma significativa en este período y que el crecimiento promedio de las seis especies en estudio disminuyó notablemente en los años de temperaturas nocturnas más altas. El máximo crecimiento se observó durante los años con temperaturas más frescas, a principios de la década de los ochenta; el menor desarrollo de los árboles ocurrió durante los años más calientes. El peor año fue 1998, debido a sus noches calientes y una estación seca con menos lluvia de lo normal.

Contrariamente a la hipótesis sobre la fertilización generada por el aumento en las concentraciones atmosféricas de CO₂, se demostró que el ritmo de crecimiento de los árboles disminuyó ante el incremento de CO₂ en la atmósfera. Sin embargo, este efecto obedece completamente a las temperaturas nocturnas. Una vez que se eliminó esta variable, no se determinó ninguna relación entre el CO₂ presente en la atmósfera y el crecimiento de los árboles.

Básicamente, los resultados indican que períodos relativamente cortos de poca precipitación bastan para reducir el crecimiento de los árboles en pie, aun en los bosques tropicales húmedos. La disminución



A. Hepworth

alcanza el 20% en años con una estación lluviosa un poco seca, en comparación con años más lluviosos.

La hipótesis actual de los investigadores del proyecto *Trees* establece que numerosos factores, cada uno relacionado con reducciones en la cantidad de precipitación durante la estación seca, interactúan para reducir el crecimiento de los árboles; tales factores incluyen temperaturas elevadas en el día y la noche, menor humedad en el suelo, y estrés hídrico sufrido por los árboles ante bajos niveles de vapor de agua en el aire. Por otra parte, los resultados demuestran que el crecimiento anual de los árboles mantiene un estrecho vínculo con los patrones climáticos por año. Estas respuestas anuales a escala de paisaje se pueden interpretar como fenómenos emergentes fundamentados sobre procesos fisiológicos en períodos más cortos. Se requerirá de estudios específicos para determinar la naturaleza de estos mecanismos fisiológicos y precisar la escala temporal en que operan. Estos estudios a largo plazo ayudarán a cuantificar la relación entre distintos procesos eco-fisiológicos, las variaciones climáticas y el crecimiento de los árboles, asimismo se espera sirvan de base para mejorar los modelos para analizar el rendimiento del bosque tropical. La necesidad de este tipo de mecanismos mejorados de análisis es que ningún modelo actual sobre el crecimiento de árboles de bosque lluvioso tropical predice la estrecha y generalizada relación entre el crecimiento de éstos y las condiciones de la tempora-

da seca observadas durante la década bajo estudio.

Los datos recabados señalan que las altas temperaturas de hoy en día ya están impactando de forma negativa el equilibrio entre la captura de carbono por el bosque, a través de la fotosíntesis, y la respiración de las plantas del bosque tropical lluvioso. Aún no se ha identificado el mecanismo fisiológico que reduce el crecimiento de los árboles debido a las altas temperaturas nocturnas; sin embargo, el hecho de que la serie de árboles en crecimiento correspondiente a 10 y 24 años demuestre una relación más estrecha con las temperaturas nocturnas que con altas temperaturas diurnas coincide con los impactos negativos sobre el crecimiento de los árboles al intensificarse la respiración nocturna.

A pesar de que no se detectaron efectos negativos relevantes como consecuencia de las temperaturas máximas diarias sobre el crecimiento anual, éstas pronto podrían contribuir a reducir la productividad de este bosque. Ante temperaturas diurnas más calientes durante los próximos años, la capa superior de las hojas de los árboles, denominada el dosel, experimentará un aumento en el porcentaje de temperatura durante el día por encima de su punto óptimo para ejecutar la fotosíntesis (Clark 2004, Tribuzy 2005, Doughty y Goulden 2008). Por otra parte, los estudios de las corrientes de aire *-eddy covariance-* en este sitio (Loescher *et al.* 2003) ya han demostrado reducciones en la fijación neta de carbono producto de las

temperaturas diurnas actuales. Las altas temperaturas generan efectos negativos sobre el proceso de fotosíntesis generalmente con mayor intensidad en las capas más productivas de las hojas (Doughty y Goulden 2008).

A través del área biótica -es decir, una determinada parte del planeta que comparte los mismos clima, vegetación y fauna- correspondiente al bosque tropical lluvioso, el promedio anual de temperatura aumentó 0,26° C por década durante los últimos 30 años; además, los patrones de precipitación se modificaron en algunas partes del trópico (Malhi y Wright 2005). Los resultados expuestos indican que los árboles en este bosque lluvioso de tierras bajas de Costa Rica responde rápidamente ante los niveles de variación anual en cuanto a intensidad y temperaturas de la estación seca, generando numerosos impactos sobre el desarrollo del bosque. Si esta capacidad de respuesta persiste durante el clima futuro, los datos recabados sugieren que habrá cambios importantes en la estructura y el funcionamiento de este bosque ante un calentamiento y/o sequía moderados.

En caso de mantenerse la misma relación entre la temperatura nocturna, el crecimiento de los árboles y su mortalidad ante un posible incremento de 3° C, la mortalidad de árboles anual en La Selva aumentaría de 2,6% a 6,9%, mientras que el crecimiento anual de los árboles disminuiría en un 56%. Estos cambios obviamente provocarían grandes impactos sobre la actual estructura biológica y física de este bosque así como de prácticamente todo el funcionamiento del bosque. Dada la diversidad fisiológica y morfológica de los árboles, palmeras y lianas dentro del bosque tropical, inevitablemente algunas especies responderán mejor que otras al incremento de la temperatura. De igual forma, las especies sensibles a los cambios en la temperatura experimentarían un proceso de deterioro contrapuesto al aumento en cantidad de especies más tolerantes al calor (Matthews *et al.* 2007, Colwell *et al.* 2008). La enorme sensibilidad de las especies forestales con respecto a temperaturas elevadas sugiere que el descenso en la precipitación durante la época seca podría agravar los efectos negativos en el crecimiento de los árboles.

En el mundo entero, los bosques tropicales continuarán calentándose enormemente (Denman *et al.* 2007) y las temperaturas promedio para finales de siglo probablemente sobrepasen las más altas identificadas durante el siglo XX, para cada estación del año (Battisti y Naylor 2009). Muchos modelos también predicen una sequía importante en la mayor parte del trópico (Alley *et al.* 2007, Malhi *et al.* 2009). Las observaciones de los investigadores Clark a largo plazo de un bosque tropical húmedo en Costa Rica, combinadas con múltiples evidencias de bosques tropicales de otras regiones, sugieren que incluso leves niveles de calentamiento y sequía podrían repercutir de ma-

nera negativa en el desarrollo de los árboles de los bosques húmedos en este ecosistema. A menos que ocurra una rápida aclimatación, es muy posible que los índices de crecimiento disminuyan y los de muerte aumenten, se genere una sustitución de especies e incluso se presenten cambios en el ecosistema (Colwell *et al.* 2008). Si efectos similares tanto en temperaturas altas como al aumentar la intensidad de la época seca se confirman en otros sitios, los actuales modelos de estudio para el ciclo de carbono deberán ser modificados para representar mejor estos importantes datos por parte de los bosques tropicales para la investigación del calentamiento global.

Referencias bibliográficas

- Adams, J. M. y G. Piovosan. "Long series relationships between global interannual CO₂ increment and climate: evidence for stability and change in role of the tropical and boreal-temperate zones", en *Chemosphere* 59, 2005.
- Alley, R. B. *et al.* "IPCC, 2007: summary for policymakers", en Solomon, S. *et al.* (eds.). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Battisti, D. S. y R. L. Naylor. "Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat", en *Science* 323, 2009.
- Berthelot, M. *et al.* "How uncertainties in future climate change predictions translate into future terrestrial carbon fluxes", en *Global Change Biology* 11, 2005.
- Clark, D. A. "Sources or sinks?: the responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition", en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 369, 2004.
- Colwell, R.K. *et al.* "Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics", en *Science* 322, 2008.
- Cramer, W. *et al.* "Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models", en *Global Change Biology* 7, 2001.
- Denman, K. L. *et al.* "Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry", en Solomon, S. *et al.* (eds.). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Dixon, R. K. *et al.* "Carbon pools and flux of global forest ecosystems", en *Science* 263, 1994.
- Doughty, C. E. y M. L. Goulden. "Are tropical forests near a high temperature threshold?", en *Journal of Geophysical Research – Biogeosciences* 2008.
- Hickler, T. *et al.* "CO₂ fertilization in temperate FACE experiments not representative of boreal and tropical forests", en *Global Change Biology* 14, 2008.
- Loescher, H. W. *et al.* "Environmental controls on net ecosystem-level carbon Exchange and productivity in a Central American tropical wet forest", en *Global Change Biology* 9, 2003.
- Lloyd, J. y G. D. Farquhar. "Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees", en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 363, 2008.
- Malhi, Y. *et al.* "Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (US)*, 2009. En: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073.pnas.0804619106.
- Malhi, Y. y J. Wright. "Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical forest regions", en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 359, 2005.
- Matthews, H. D. *et al.* "What determines the magnitude of carbon cycle-climate feedbacks?", en *Global Biogeochemical Cycles* 21, 2007.
- Nemani, R. R. *et al.* "Climate driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999", en *Science* 300, 2003.
- Tribuzy, E. S. 2005. *Variacões da temperatura foliar do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO₂ na Amazônia Central*. Disertación Doctoral. Universidad de Sao Paulo, Brasil.